

Pengaruh Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan pH Terhadap Kinerja *Dual Chamber Microbial Fuel Cells* (DCMFCs)

Mazlani Firdausya Rohim^{*)}, Ganjar Samudro^{)}, Sri Sumiyati^{**)}**

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof Sudharto SH Tembalang Semarang
mazlanifirdausyarohim@gmail.com

ABSTRAK

The rapid population growth and industries development trigger the increasing of wastewater product. A high level organic concentration on wastewater become one of pollution sources. The treatment which is using anaerobic processing become more popular in use because its suitability for wastewater with high level pollutant, produced few sludge, and without aeration required. The newest reactor of wastewater anaerobic processing is Dual Chamber Microbial Fuel Cells (DCMFCs). In addition of COD concentration reduce on wastewater, DCMFCs could also generate electricity. In this research, COD concentration vary on 400 mg/L, 800 mg/L, and 1200 mg/L, then pH on 6, 7, and 8. The result indicate that the treatment process perform on 35 days running with 1.200 mg/L COD concentration at pH 8 deliver optimum condition, where COD concentration 95.69% removed and produced power density 590, 15 mW/m² electrical charges.

Keywords: *Wastewater, Anaerobic Processing, Dual Chamber Microbial Fuel Cells (DCMFCs), COD, pH*

I. Pendahuluan

Air buangan atau limbah cair merupakan sisa air yang berasal dari kegiatan rumah tangga, industri maupun tempat-tempat umum lainnya, dan pada umumnya mengandung bahan-bahan atau zat-zat yang dapat membahayakan bagi kesehatan manusia serta mengganggu lingkungan hidup (Notoamodjo, 2003). Seiring dengan kemajuan zaman, perkembangan populasi dan industri yang pesat juga mendorong peningkatan limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari dan berbanding lurus dengan dampak negatif yang ditimbulkan bagi kelangsungan hidup manusia. Berbagai kasus pencemaran lingkungan dan memburuknya kesehatan masyarakat yang marak terjadi dewasa ini diakibatkan oleh penanganan dan pengolahan limbah tersebut belum optimal. Pengolahan limbah cair saat ini yang telah dikembangkan sangat beraneka ragam. Limbah cair dengan kandungan polutan berbeda-beda kemungkinan akan membutuhkan proses pengolahan yang

berbeda pula. Proses-proses pengolahan biologis zat organik pada air limbah tersebut ada yang secara aerob, anaerob, maupun kombinasi keduanya saat ini telah banyak diaplikasikan.

Dewasa ini pengolahan limbah menggunakan proses anerob lebih banyak digunakan karena sangat cocok untuk limbah yang mempunyai kadar polutan yang tinggi (Ayati dan Ganjidoust, 2006). Hal ini dikarenakan pengolahan anerobik tidak membutuhkan aerasi sehingga menghemat biaya dan lumpur yang dihasilkan sedikit (Shanmugam dan Akkunna, 2008). Reaktor terbaru dari proses pengolahan anerobik yang saat ini telah banyak dikembangkan yaitu *microbial fuel cells*. Menurut (Allan dan Benneto, 1993:28) MFCs merupakan alat untuk mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan bantuan reaksi dari mikrobia. Mikroorganisme *electrochemically* aktif yang bertanggung jawab pada oksidasi substrat dalam transfer elektron adalah komponen kunci pada MFCs sebab mikroorganisme ini bisa digunakan

dalam sistem MFCs untuk menghasilkan energi listrik sambil menyelesaikan proses penghancuran dari material organik (Du *et al.*, 2007:869). Saat ini MFCs telah dikembangkan sebagai aplikasi dalam pengolahan limbah cair. Efisiensi dan kinerja dari MFCs dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya pH. pH merupakan faktor kritis untuk semua proses berbasis mikroba.

Menurut (Rozendal *et al.*, 2006), dalam MFCs *dual chamber* pertumbuhan optimal bakteri membutuhkan pH netral, selain itu berdasarkan penelitian (Jadhav and Ghangrekar, 2009; Gil *et al.*, 2003 dalam Puig *et al.*, 2010) dalam MFCs *dual chamber*, kuat arus tertinggi dicapai pada pH netral antara 6,5 sampai 8. Oleh karena itu variasi pada rentang pH dan variasi konsentrasi COD dipilih karena nilai COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat maupun tidak dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Alaerts dan Sumestri, 1984) dan penurunan COD juga dipengaruhi pH pada air limbah (Nimje *et al.*, 2011).

II. Metodologi Penelitian

A. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian meliputi variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol.

Variabel bebas

1. Konsentrasi COD : 400, 800, 1200 mg/l
2. pH : 6, 7, 8

Variabel Terikat

Penurunan Konsentrasi COD dan Produksi Listrik

Variabel Kontrol

Suhu

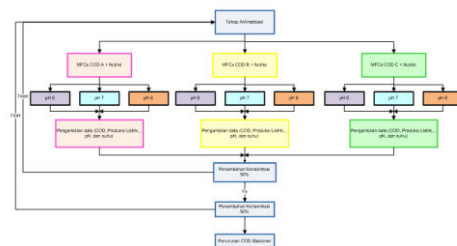
B. Prosedur Kegiatan Penelitian

Pada penelitian ini diobservasi dalam kondisi *artificial* (buatan) sehingga dapat diatur. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan reaktor *dual chamber microbial fuel cells* yang dibuat dalam kondisi skala laboratorium. Jumlah reaktor yang digunakan yaitu 9 pasang reaktor, dimana dalam 1 pasang reaktor terdiri dari bagian anoda dan katoda. Pada bagian anoda

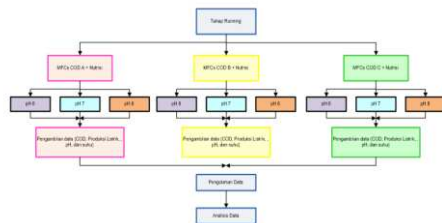
terjadi proses *anaerob* sedangkan di bagian katoda terjadi proses *aerob*.

Penelitian ini terdiri dari 2 tahapan yaitu tahap *seeding* dan aklimatisasi serta tahap *running*. Pada penelitian ini tahapan *seeding* dan aklimatisasi dilakukan secara bersama karena pembenihan langsung dilakukan di dalam reaktor.

Tahapan *seeding* dan aklimatisasi ini dikondisikan batch selama 14 hari. Dalam proses aklimatisasi ini dijalankan selama 14 hari sebab mikroorganisme yang terkandung di dalamnya membutuhkan waktu yang lama untuk mendegradasi senyawa organik yang terkandung menurut Baikun Li (2011) tahap aklimatisasi membutuhkan waktu minimal 2 minggu untuk pertumbuhan biofilm yang baik sebab biofilm juga membutuhkan waktu yang cukup dengan substrat agar dapat mendegradasi bahan organik yang terkandung. Limbah *artificial* dicampur dengan limbah *septic tank* dengan perbandingan COD terlarut 1:2 (Septiana, 2013) dan dipertahankan konsentrasi COD dalam kisaran 600 mg/L. Pencampuran dengan limbah *artificial* ini bertujuan agar bakteri nantinya dapat beradaptasi dengan limbah *artificial* yang akan diolah. Selama 14 hari tersebut dikontrol kondisinya dengan pengukuran pH, temperatur, voltase, arus dan uji analisa COD terlarut. Tahap aklimatisasi dihentikan ketika efisiensi penyisihan senyawa organik (COD) telah konstan dengan fluktuasi yang tidak lebih dari 10% selanjutnya dilakukan tahap *running* selama 35 hari. Berikut adalah gambaran tahap *seeding* dan aklimatisasi yang disajikan dalam gambar 3.1.



Gambar 1 Skema Penelitian Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi dengan Sistem *Batch*



Gambar 1 Skema Penelitian Tahap *Running* dengan Sistem *Kontinyu*

Berdasarkan gambar 1 di atas pada tahap aklimatisasi, konsentrasi COD di dalam reaktor dikondisikan secara bertahap dimana tiap 3 hari sekali dilakukan penambahan konsentrasi sebesar 50 hingga 100% dari variasi konsentrasi COD yang diinginkan (Rohman, 2013). Pengkondisian ini bertujuan agar bakteri beradaptasi dengan konsentrasi rendah hingga tinggi sehingga *shock loading* dapat dihindari.

Pada tahap *running* berdasarkan gambar 2 di atas, pengamatan dilakukan pada setiap reaktor dengan adanya variasi pH 6, 7, dan 8 dan COD dengan konsentrasi yang berbeda. Efisiensi penurunan COD, produksi listrik dan air serta peningkatan suhu dan pH digunakan untuk analisa data.

III. Hasil dan Pembahasan

a. Karakteristik Air Limbah

Salah satu faktor kunci yang mempengaruhi kinerja MFCs diantaranya adalah substrat. Substrat merupakan bagian penting dalam proses biologis sebagai penyedia karbon (nutrisi) dan juga merupakan sumber energi (Pant *et al.*, 2009). Substrat yang digunakan dalam MFCs mulai dari organik sederhana sampai campuran kompleks seperti yang terdapat dalam limbah cair. Meskipun substrat yang kaya akan kandungan organik lebih menguntungkan dalam pertumbuhan beragam mikroba, namun substrat sederhana dianggap lebih baik untuk produksi listrik dalam waktu singkat. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan substrat yang berasal dari air limbah artifisial dengan organik sederhana seperti glukosa dan asam asetat. Penggunaan dari air limbah *artificial* ini disebabkan air limbah buatan dapat ditentukan konsentrasi COD nya dibandingkan dengan menggunakan air limbah asli dan pencapaiannya dapat

mendekati dengan yang kita inginkan (Putri, 2012).

Menurut Baikun, Li (2011) penurunan konsentrasi COD terbaik terjadi pada konsentrasi tinggi sehingga dari degradasi COD tersebut menghasilkan produksi listrik tinggi pula. Maka dari itu pemilihan konsentrasi rendah hingga tinggi ini disesuaikan oleh hasil uji karakteristik. Untuk uji karakteristik air limbah dalam penelitian ini, sampel air limbah yang digunakan berasal dari air limbah *grey water* perumahan A, *grey water* perumahan B, dan industri tahu. Uji karakteristik ini dilakukan di Laboratorium Lingkungan, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro Semarang. Hasil pengujian karakteristik ini merupakan acuan dalam menentukan variasi beban COD pada air limbah yang akan diolah dalam sistem DCMFCs ini. Uji karakteristik limbah yang dilakukan yaitu melakukan uji analisa COD dan pengukuran pH yang mengacu pada PP No. 82 Tahun 2001 dan Kepmen LH No. 112 Tahun 2003. Berikut adalah hasil uji karakteristik air limbah yang disajikan pada tabel 1 sampai tabel 3 di bawah ini

Tabel 1 Hasil Uji Karakteristik *Grey Water* Perumahan A.

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu
COD	mg/l	381.7	10 mg/l**
pH	-	7,34	6-9*

Tabel 2 Hasil Uji Karakteristik *Grey Water* Perumahan B.

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu
COD	mg/l	889.5	10 mg/l**
pH	-	7,12	6-9*

Tabel 3 Hasil Uji Karakteristik Limbah Tahu

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu
COD	mg/l	1400	10 mg/l**
pH	-	7,3	6-9*

Berdasarkan hal itu pada penelitian ini menggunakan teknologi DCMFCs dengan rentang bahan organik sebagai substrat dari konsentrasi rendah hingga konsentrasi tinggi yang mewakili data uji karakteristik di atas yaitu konsentrasi COD 400 mg/L, 800 mg/L, dan 1200 mg/L. Ini disebabkan karena COD mempengaruhi sistem MFCs seperti yang disebutkan dalam penelitian Baikun, Li

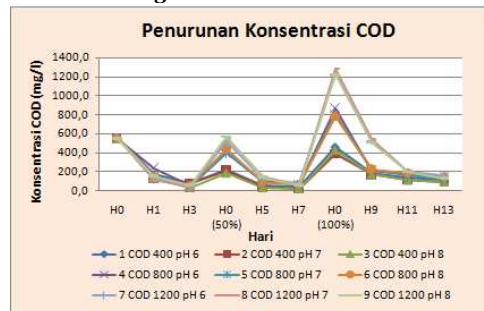
(2011) bahwa dengan adanya peningkatan konsentrasi beban COD (range 600 mg/L-1000 mg/L) dapat meningkatkan efisiensi penurunan COD dan produksi listrik.

Pembuatan limbah *artificial* untuk mendapatkan konsentrasi COD 400 mg/L, 800 mg/L, dan 1200 mg/L ini dilakukan secara *trial error*. Berikut adalah tabel *trial error* pembuatan air limbah artifisial pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Coba Pembuatan Air Limbah *Artificial* Berdasarkan Konsentrasi

Parameter	COD 400	COD 800	COD 1200
COD	420,8	763,0	1176,6
BOD	142	160	166

b. Kinerja DMFCs Pada Tahap Seeding dan Aklimatisasi

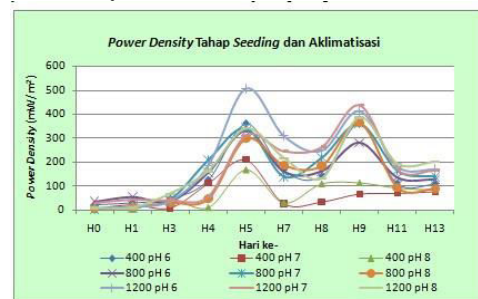


Gambar 3 Penurunan Konsentrasi COD Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi

Berdasarkan Gambar 3 di atas, penurunan COD pada tahap aklimatisasi terbesar terjadi pada hari ke-13 dengan beban konsentrasi COD 1200 mg/L. Konsentrasi COD mengalami penurunan yang signifikan pada beberapa tahap pembebanan. Pada tahap awal konsentrasi COD untuk seluruh beban reaktor mencapai efisiensi penurunan hingga 92,36-92,69% yaitu konsentrasi turun sebesar 40,4 mg/L sampai 42,3 mg/L dari konsentrasi awal sebesar 553 mg/L. Akan tetapi di hari ke 4 setelah penambahan beban sebesar 50%, terjadi *shock loading* sehingga efisiensi penyisihan COD mengalami penurunan, akan tetapi penurunan berangsur-angsur terjadi pada hari ke-5 hingga hari ke-7 dimana penurunan terbesar terjadi pada beban COD 1200 mg/L. Pada beban ini terjadi penyisihan hingga mencapai 85-89% sehingga konsentrasi turun dan mencapai nilai 58,3 mg/L, 63, 6mg/L, dan 74,4 mg/L. Selanjutnya pada hari ke-9 efisiensi penurunan COD kembali mengalami *shock*

loading setelah penambahan beban 100% dari variasi beban masing-masing. Dimana efisiensi terbesar terjadi pada hari ke 13 untuk reaktor beban COD 1200 mg/L yaitu sebesar 87-88% sehingga dari konsentrasi awal sebesar ± 1200 mg/L didapat penurunan COD dengan nilai konsentrasi 158,5 mg/L, 142,8 mg/L, dan 137,4 mg/L.

Untuk penurunan COD dan produksi listrik pada tahap *seeding* dan aklimatisasi ini telah mencapai penurunan hingga 50-90% dalam kondisi *batch* ini sesuai dengan penelitian sebelumnya dimana penggunaan asam asetat dan glukosa mencapai penurunan 30%-65% (Lee, 2011., Devasahayam *et al.*, 2011).



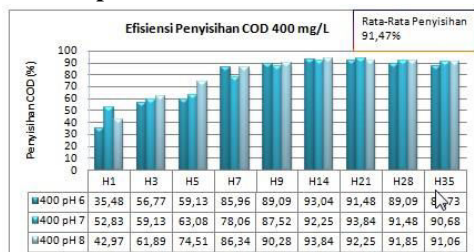
Gambar 4 Produksi Listrik Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi

Untuk produksi listrik yang dihasilkan pada tahap awal *seeding* dan aklimatisasi produksi listrik yang dihasilkan mencapai 31,70 mW/m² hingga 67,53 mW/m². Selanjutnya setelah penambahan beban 50% listrik mengalami peningkatan hingga mencapai nilai produksi terbesar di hari ke-5 dengan produksi listrik sebesar 505,46 mW/m² pada beban organik 1200 mg/L. Dan pada penambahan beban 100% dari variasi beban masing-masing produksi listrik yang dihasilkan sebagian besar mengalami penurunan tetapi secara keseluruhan produksi listrik terbesar terjadi pada hari ke-9 di reaktor dengan beban 1200 mg/L yaitu sebesar 435,64 mW/m².

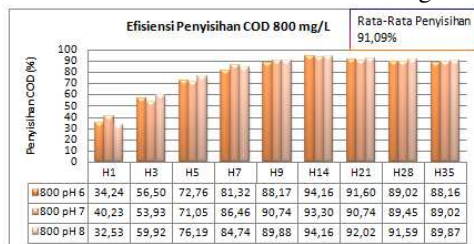
Produksi listrik yang dihasilkan dengan menggunakan substrat glukosa mencapai 300-500 mW/m² ini sesuai dengan penelitian (Lee *et al.*, 2011) yang menyatakan bahwa penggunaan substrat glukosa dapat menghasilkan listrik yang baik hingga 161 mW/m². Ini disebabkan walaupun glukosa menghasilkan CE (Coulombic Efficiency) yang rendah akibat dari kompetisi bakteri, tetapi struktur bakteri

yang relatif lebih beragam memungkinkan pemanfaatan substrat yang lebih luas sehingga menghasilkan *Power Density* yang lebih luas (Chae *et al.*, 2009). Konsentrasi COD semakin menurun dikarenakan substrat yang semakin habis. Ini bisa terjadi sebab substrat merupakan karbon sehingga penting dalam sumber energi. Bila substrat semakin habis secara otomatis produksi listrik menurun ini dikarenakan substrat merupakan salah satu sumber energi (Angenent dan Wrenn, 2008).

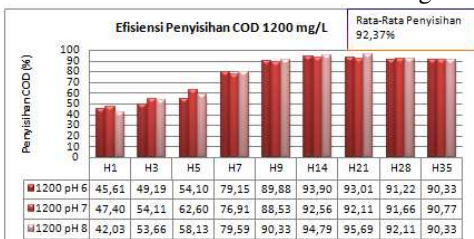
c. Kinerja DCMFCs Pada Tahap Running
Pengaruh Variasi Konsentrasi COD Terhadap Penurunan COD



Gambar 5 Konsentrasi COD 400 mg/l



Gambar 6 Konsentrasi COD 800 mg/l



Gambar 7 Konsentrasi COD 1200 mg/l

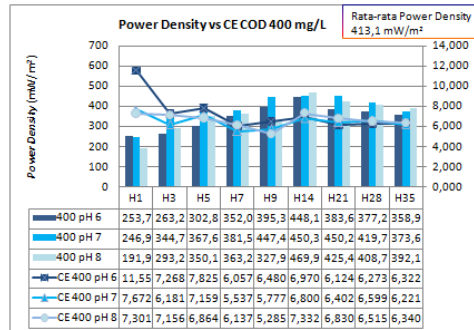
Berdasarkan gambar 5, 6, 7 di atas penurunan konsentrasi COD tertinggi terjadi pada beban 1200 mg/l dibandingkan dengan beban 400 mg/l dan 800 mg/l. Rata-rata penyisihan COD terjadi pada beban COD 1200 mg/l dengan hasil efisiensi rata-rata 92,37% dan maksimum pada hari ke 21 dengan penurunan COD mencapai 95,69% dibandingkan dengan rata-rata penurunan COD pada beban 400 mg/l yaitu 91,47% dan

beban 800 mg/l 91,09%. Hasil ini menunjukkan bahwa kinerja DCMFCs mampu untuk melakukan pengolahan dengan kadar konsentrasi organik tinggi yaitu sebesar 1200 mg/l. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Baikun Li (2011), yaitu penurunan COD akan semakin besar seiring dengan tingginya konsentrasi influent. Hal ini menunjukkan bahwa komunitas mikroba dalam sistem MFCs tidak membatasi kemampuan degradasi substrat sehingga penurunan COD akan semakin besar seiring dengan tingginya konsentrasi COD yang masuk ke dalam reaktor.

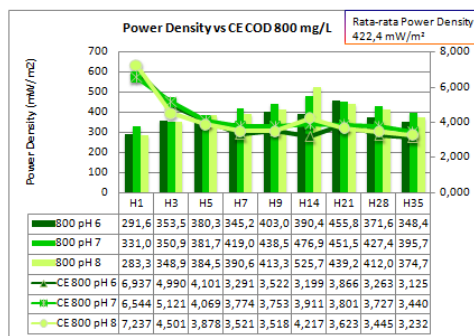
Proses penguraian organik pada sistem MFCs ini disebabkan adanya proses pengolahan yang berlangsung secara anaerob dimana susbtat yang digunakan yaitu glukosa dan asam asetat. Pada tahap aklimatisasi biofilm telah terbentuk yang berasal dari sekumpulan mikroorganisme yang melekat dan menempel pada permukaan benda padat (Maier, 2009), dalam penelitian ini benda padat yang dimaksudkan adalah elektroda. Mikroorganisme dalam biofilm inilah yang berfungsi sebagai pengurai kandungan organik pada zat pencemar di air limbah.

Proses penguraian secara anaerob ini melibatkan mikroorganisme yang terdapat dalam biofilm. Menurut (Toerien *et al.*, 1970 disadur dari Droste, 1997) proses penguraian secara anerob ini berlangsung dalam 3 tahap yaitu tahap hidrolisa, asetogenesis, dan metanogenesis. Bakteri asidogenik menguraikan senyawa glukosa menjadi asam organik seperti asam asetat, asam butirat dan asam propionat. Selanjutnya bakteri asetogenik mengubah asam butirat dan asam propionat menjadi asam asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Asam asetat yang telah dihasilkan ini bersama substrat diuraikan oleh bakteri acetoclastic menjadi metan dan karbondioksida begitu juga dengan hidrogen dan karbondioksida yang telah dihasilkan diubah oleh bakteri metan menjadi metan (CH₄) dan air (H₂O). Proses inilah yang bertujuan merombak bahan organik dalam air limbah menjadi sederhana dan tidak berbahaya sehingga didapat nilai COD hasil pengolahan yang memenuhi baku mutu.

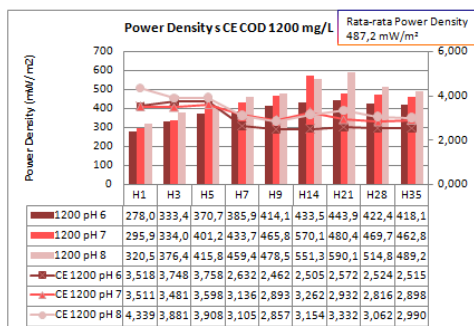
Pengaruh Variasi Konsentrasi COD Terhadap Produksi Listrik



Gambar 8 Konsentrasi COD 400 mg/l



Gambar 9 Konsentrasi COD 800 mg/l



Gambar 10 Konsentrasi COD 1200 mg/l

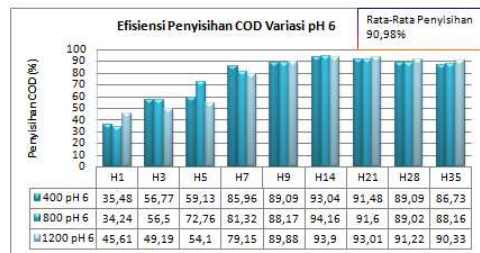
Berdasarkan gambar 8, 9, 10 produksi listrik yang dihasilkan didapatkan pula hasil yang lebih baik pada konsentrasi COD 1200 mg/l dengan rata-rata power density terjadi pada beban COD 1200 mg/l dengan hasil efisiensi rata-rata 487,2 mW/m² dibandingkan dengan rata-rata power density konsentrasi 400 mg/l yang hanya mencapai 413,1 mW/m² dan konsentrasi 800 mg/l yang juga hanya mencapai 422,4 mW/m². Power density maksimum pada beban 1200 mg/l mencapai 590,15 mW/m² pada hari ke-21. Salah satu faktor penentu 1200 mg/l

mencapai produksi listrik yang teritinggi disebabkan karena konsentrasi substrat influent yang tinggi pula, sebab mikroorganisme pada biofilm memperoleh substrat yang lebih banyak dibandingkan dengan konsentrasi 400 dan 800 mg/l sehingga lebih banyak substrat yang di urai untuk menghasilkan elektron. Diduga pada penelitian ini konsentrasi 1200 mg/l menunjukk biofilm yang maksimum tidak terlalu tebal dan tipis sehingga tidak menyebabkan adanya resistensi terhadap elektron di biofilm (Li *et al*, 2011). Ini sesuai dengan pernyataan Baikun Li (2011) bahwa konsentrasi COD yang rendah akan menghasilkan produksi listrik yang rendah pula. Pada akhir penelitian terjadi penurunan produksi listrik di hari ke 28 dan 35 di indikasikan karena adanya dispersi pada beberapa mikroorganisme di biofilm. Sehingga memungkinkan beberapa bakteri meninggalkan biofilm untuk kembali menjadi sel planktonik (bakteri yang hidup bebas) (Maier, 2009).

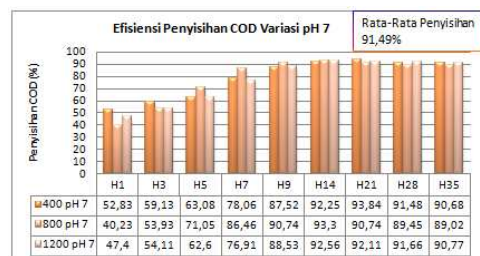
Terproduksinya *power density* adalah tujuan utama setelah limbah terdegradasi. Perombakan limbah yang menghasilkan elektron sebagai arus ini dinyatakan dalam *Coloumb Efficiency* (CE). Menurut Logan (2007) *Coloumb Efficiency* (CE) dinyatakan sebagai fraksi dari konversi elektron sebagai arus dibandingkan dengan bahan organik dalam substrat. Berdasarkan grafik grafik 4.6, 4.7, dan 4.8 menunjukkan kondisi yang berbeda dimana kondisi terbaik CE yang dihasilkan pada konsentrasi COD 400 mg/l. Hal ini disebabkan karena bergantung pada seberapa banyak beban organik dalam substrat yang telah terurai dari konsentrasi awal. Jika produksi listrik yang dihasilkan dikonversi ke KWh dari COD 400 mg/l didapatkan 0,00254 KWh sedangkan efisiensi *removal* konsentrasi COD 400 mg/l tidak 100 %. Dari konsentrasi COD 400 mg/l sebesar 452,9 mg/l hanya 6,97 % CE atau 31,56 mg/l yang dikonversi sebagai produksi listrik sehingga didapatkan 2,00046 x 10⁻⁴ KWh. Perbandingan antara nilai KWh COD 400 mg/l dengan nilai KWh efisiensi *removal* konsentrasi COD 400 mg/l menghasilkan nilai persen sama dengan nilai CE yaitu 2,00046 x 10⁻⁴ KWh dibagi 0,00254 KWh mendapatkan hasil sebesar 0,01753 diubah dalam satuan persen menjadi 7,0 %. Hasilnya sama dengan perhitungan

CE karena nilai KWh ini adalah produksi listrik dari arus yang dihasilkan dengan adanya elektron dari degradasi limbah. (Perhitungan terlampir).

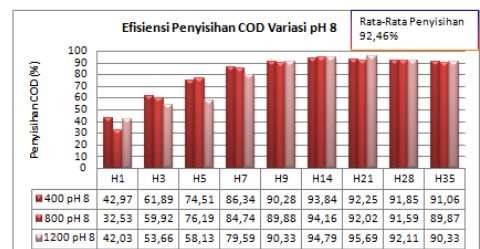
Pengaruh Variasi pH Terhadap Penurunan COD



Gambar 11 Variasi pH 6



Gambar 12 Variasi pH 7



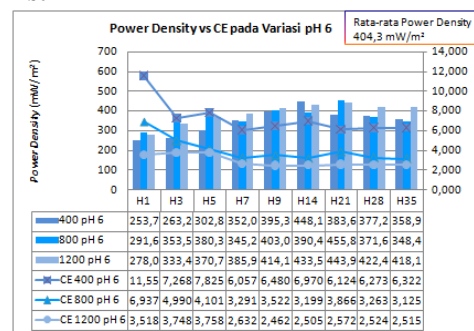
Gambar 13 Variasi pH 8

Berdasarkan Gambar 11, 12, 13 di atas penurunan konsentrasi COD tertinggi terjadi pada beban 1200 mg/l dibandingkan dengan beban 400 mg/l dan 800 mg/l. Rata-rata penyisihan COD terjadi pada variasi pH 8 dengan hasil efisiensi rata-rata 92,46% dan maksimum pada hari ke 21 dengan penurunan COD mencapai 95,69% dibandingkan dengan rata-rata penurunan COD pada variasi pH 7 yaitu 91,49% dan variasi pH 8 yaitu 90,98%. Sedangkan pada variasi pH 6 di semua beban COD menunjukkan hasil yang rendah dibandingkan 2 variasi lainnya pada hari ke 14-35. Hasil yang kurang maksimum pada pH 6 ini dapat disebabkan adanya penurunan laju pertumbuhan bakteri methanogen yang

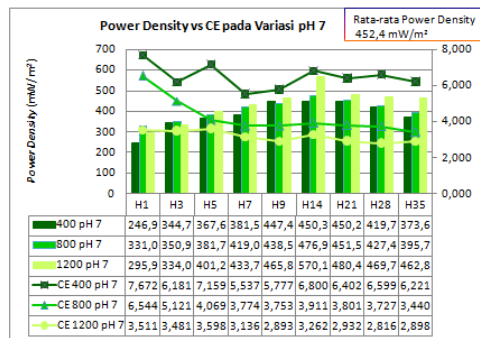
terjadi signifikan pada kondisi pH di luar range 6,5-8,2 (Hudson, 2010). Ini sesuai dengan pernyataan (Moertinah (2010) yaitu penurunan nilai pH yang terjadi setelah proses asidifikasi sehingga pH 6 dapat menghambat aktifitas bakteri metan. Salah satu fasa yang paling penting dalam dekomposisi bahan organik pada proses anerob terjadi pada fasa asidogenesis dan asetogenesis. Pada fasa ini akan terbentuk asam lemak volatil yang tentunya akan menurunkan pH dalam reaktor. Pengaturan pH dapat dilakukan dengan menjaga influent tidak terlalu asam. Nilai pH di bawah 6 dapat menyebabkan aktifitas bakteri metan mulai terganggu (Eckenfelder, 1989 dalam Padmono, 2007:122). Sehingga hal ini berpengaruh terhadap efisiensi COD yang dihasilkan, sebab bakteri methanogen berperan menghasilkan penurunan COD lebih dari 70% pada sistem Aneerob (Hudson, 2010).

Secara umum pada hasil penurunan COD maksimum pada variasi pH 8. Ini dapat disebabkan kondisi alkali (pH basa) pertumbuhan bakteri lebih baik dibandingkan pada kondisi netral ataupun acidic (Nimje *et al.*, 2010; Behera *et al.*, 2011). Ini dapat ditunjukkan pada penelitian ini dimana adanya peningkatan pH pada COD influent dapat meningkatkan biodegradabilitas anaerob limbah. Hal ini dapat disebabkan proses peningkatan pH akan memperbesar laju hidrolisis senyawa organik kompleks sehingga kemampuan proses biodegradasi pada senyawa organik mengalami peningkatan pula (Molipane *et al.*, 2000; Mai, 2006 dalam Mulyani, 2012:56).

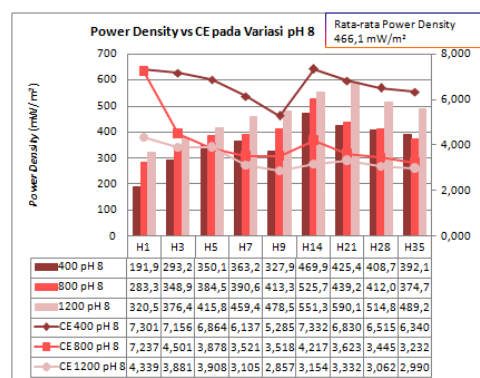
Pengaruh Variasi pH Terhadap Produksi Listrik



Gambar 14 Variasi pH 6



Gambar 15 Variasi pH 7



Gambar 16 Variasi pH 8

Berdasarkan grafik 14,15, 16 produksi listrik yang dihasilkan didapatkan pula hasil yang lebih baik pada variasi pH 8 dengan rata-rata power density terjadi pada variasi pH 8 dengan hasil efisiensi rata-rata 466,1 mW/m² dibandingkan dengan rata-rata power density konsentrasi 400 mg/l yang hanya mencapai 404,3 mW/m² dan konsentrasi 800 mg/l yang juga hanya mencapai 452,4 mW/m². Power density maksimum pada variasi pH 8 mencapai 590,15 mW/m² pada hari ke-21.

Sedangkan pada CE dari ketiga variasi pH berdasarkan grafik 4.12, 4.13, dan 4.14 didapatkan hasil terbaik pada variasi pH 8 di seluruh beban konsentrasi COD sesuai dengan power density yang dihasilkannya. Ini dapat diindikasikan bahwa hasil yang baik pada CE di kondisi alkali lebih disukai oleh bakteri aktif elektrokimia untuk menghasilkan listrik (Li *et al.*, 2013). Hal ini dapat disebabkan pada kondisi alkali sangat disukai oleh bakteri untuk menghasilkan asam lemak rantai pendek. Ini ditunjukkan dengan konsentrasi asam asetat dan propionat yang meningkat pada kondisi alkali di MFCs selama proses produksi listrik, dan asam lemak rantai pendek ini

sangat cocok sebagai substrat untuk bakteri exoelectrogens menghasilkan listrik (Yuan *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2011; Freguia *et al.*, 2010; Teng *et al.*, 2010 dalam Li *et al.*, 2013). Semakin tinggi pH juga menunjukkan potensi anoda yang negatif dibandingkan pada pH kondisi acidic yang justru sangat positif pada potensi anodanya (Li *et al.*, 2013:456). Hasil ini dapat ditunjukkan pada penelitian Li *et al.* (2013) pada kondisi alkali potensial bahan organik mengalami oksidasi -59 mV jika dibandingkan dengan kondisi acidic yang mencapai +59 mV (Li *et al.*, 2013:456).

Menurut penelitian Zhuang *et al.*, (2010), kondisi alkali menghasilkan lebih banyak beda potensial sehingga menghasilkan voltase dan daya output yang besar pula. Berdasarkan penelitian Yuan *et al.*, (2011) biofilm pada pH yang semakin tinggi yaitu 9 menunjukkan peningkatan efisiensi transfer elektron sejalan dengan kerapatan arus dibandingkan pada pH 5, dan 7. Sehingga dari penelitian yang dilakukan Yuan dapat disimpulkan pada kondisi basa interaksi antara elektrokimia elektroda dan bakteri semakin meningkat.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil maksimum untuk variasi pH terdapat pada pH 8 hal ini disebabkan pada kondisi alkali (pH basa) pertumbuhan bakteri lebih baik dibandingkan pada kondisi netral ataupun acidic (Nimje *et al.*, 2010; Behera *et al.*, 2011).

IV. Kesimpulan

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh variasi konsentrasi COD dan variasi pH terhadap kinerja MFCs yaitu semakin besar efisiensi penurunan COD, semakin besar pula penurunan COD dan produksi listrik yang dihasilkan, tetapi beberapa hal dapat mempengaruhi produksi listrik, diantaranya kemampuan mikroorganisme dalam beradaptasi. Variasi pH tidak hanya mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan bakteri tetapi juga terhadap transfer proton di MFCs
2. Pada penelitian ini menunjukkan titik optimum pada variasi konsentrasi COD berada pada variasi COD 1200 mg/l dengan rata-rata efisiensi penurunan

sebesar 92,37% dan rata-rata produksi listrik yang dihasilkan 487,2 mW/m² karena efisiensi penurunan COD yang tinggi menghasilkan produksi listrik yang tinggi pula. Sedangkan variasi pH terbaik berada pada kondisi pH 8 dengan rata-rata efisiensi penurunan COD sebesar 92,46% dan rata-rata produksi listrik yang dihasilkan yaitu 466,1 mW/m² sebab pada kondisi alkali pertumbuhan bakteri lebih baik sehingga mempengaruhi kinerja MFCs.

V. Daftar Pustaka

- Alaerts, G dan Sri Sumestri, S. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional.
- Allen R.M. dan Bennetto H.P. (1993). *Microbial Fuel Cells: Electricity Production from Carbohydrates*. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 39-40; 27-40.
- Angenent L. T. dan Wrenn B. A. 2008. *Optimizing mixed-culture bioprocesses to convert wastes into biofuels*. **Bioenergy** Vol. 15, Hal: 179-194.
- Ayati, B. dan H. Ganjidoust. 2006. *Comparing The Efficiency of UAFF and UASB with Hybrid Reactor in Treating Wood Fiber Wastewater*. *Iranian Journal of Environment Health Science and Engineering* Vol. 3 No.1, 39-44.
- Behera Manaswini, Jana Partha S., More T. Tanaji, dan Ghangrekar M.M. 2010. *Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH*. *Journal Bioelectrochemistry* Vol. 79, 228-233.
- Chae, K.-J., Choi, M.-J., Lee, J.-W., Kim, K.-Y., Kim, I.S., 2009. *Effect of different substrates on the performance, bacterial diversity, and bacterial viability in microbial fuel cells*. *Journal Bioresource Technology* Vol. 100, 3518–3525.
- Cheng, Shaoan., Liu, Hong, Logan, Bruce E. 2006. *Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure*. *Journal Electrochemistry Communication*, Vol. 8, 489–494.
- Du, Zhuwei., Li, Haoran., and Gu, Tingyue. 2007. *A State of The Art Review on Microbial Fuel Cells: A Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy*. *Biotechnology Advances Journal* (464-482).
- Eckenfelder, WW Jr., et al. 1985. *Wastewater Treatment*. Chem. Eng Hal: 60-74.
- Jadhav G.S., dan Ghangrekar M.M. 2009. *Performance of Microbial Fuel Cell Subjected to Variation in pH, Temperature, External Load and Substrate Concentration*. *Journal Bioresource Technology* Vol. 100, 717-723.
- Li, Fengxiang. Yogesh, Sharma. Lei, Yu. Li, Baikun Zhou. Qixing. 2010. *Microbial Fuel Cells : The Effects of Configurations, Electrolyte Solutions, and Electrode Materials on Power Generation*. *Appl Biochem Biotechnol* (160) : 168-181.
- Logan BE, Cheng Shaoan, Watson Valerie, dan Estadt Garrett. 2007. *Graphite Brush Anodes For Increase Power Induction in Air Cathode Microbial Fuel Cells*. *J. Environment Science Technology* 41, 3341-3346.
- Mulyani, Happy. 2012. *Pengaruh Pre-Klorinasi dan Pengaturan Ph Terhadap Proses Aklimatisasi Dan Penurunan COD Pengolahan Limbah Cair Tapioka Sistem Anaerobik Baffled Reactor*. Thesis Fakultas Teknik Teknik. Undip.
- Nimje, Vanita Roshan., Chen, Chien Yen., Chen, Chien Cheng., Tsai, Ji Yi., Chen., Hau Ren., Huang, Yuh Ming., Jean, Jiin Shuh., Chang, Young Fo., and Shih, Ruey

- Chyuan. 2011. *Microbial fuel cell of Enterobacter cloacae: Effect of anodic pH microenvironment on current, power density, internal resistance and electrochemical losses*. International Journal of Hydrogen Energy XXX (1-9).
- Notoatmodjo, Soekidjo. 2003. *Pendidikan Dan Perilaku Kesehatan*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Pant Deepak, Bogaert Gilbert Van, Diels Ludo, dan Vanbroekhoven Karolien. 2009. *A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production*. Journal Bioresource Technology.
- Puig, Sebastian., Serra, Marc., Coma, Marta., Cabre, Marina., Balaguers, M. Dolors., and Colprim, Jesus. 2010. *Effect of pH on Nutrient Dynamics and Electricity Production Using Microbial Fuel Cells*. Bioresource Technology Journal Vol. 101 Issue 24 (9594-9599).
- Putri, Arifani Rakhma. 2012. *Penentuan Rasio BOD/COD Optimal Pada Reaktor Aerob, Fakultatif dan Anaerob*. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro.
- Rozendal, R. A., Hamelers, H. V. M. & Buisman, C. J. N. 2006a. *Effects of Membrane Cation Transport on pH and Microbial Fuel Cell Performance*. Environ. Sci. Technol. 40(17), 5206–5211.
- Septyana, Ian. 2014. *Pengaruh Variasi Debit dan Jumlah Elektroda Terhadap Penurunan COD dan Produksi Listrik dalam Reaktor Microbial Fuel Cells (MFCs) Studi Kasus: Air Limbah Rumah Potong Hewan (RPH) Kota Salatiga*. Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- Shanmugam, AS dan Akunna, JC. 2008. *Comparing the Performance of UASB and GRABBR Treating Low Strength Wastewaters*. Journal Water Science Technologies. Vol 58, Hal: 225-32.
- Torres, C. L., Lee, H. S., Rittmann, B. E. 2008. *Carbonate Species as OH⁻ Carriers for Decreasing the pH and Microbial Fuel Cell Performance*. Journal Enviro Science Technology Vol. 40 (17), Hal: 5206-5211.
- Yuan Yong, Zhao Bo, Zhou Shungui, Zhong Shengkui, dan Zhuang LI. 2011. *Electrocatalytic Activity of nodic Biofilm Response to pH Changes in Microbial Fuel Cells*. Journal Bioresource Technology, Vol. 102, 6887-6891.
- Zhuang, L., Zhou, S., Li, Y., Yuan, Y. 2010. *Enhanced Performance of Air-Cathode Two Chamber Microbial Fuel Cells with High-pH Anode and Low-pH Cathode*. Journal Bioresource Technology Vol. 101, Hal: 3514-3519.

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

**) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang